

## **ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧ ОПТИМІЗАЦІЇ ПАРАМЕТРІВ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ З ВИКОРИСТАННЯМ ПАКЕТА MathCAD**

*Розглянуто можливість застосування багатофункціонального пакета MathCAD для конструювання різальних інструментів та оптимізації їх параметрів. Проведено багатоваріантний аналіз параметрів різального інструмента залежно від геометричних характеристик оброблюваної деталі.*

### **Умовні позначення:**

- t** — крок зубів циліндричної протяжки;
- L** — довжина оброблюваної поверхні деталі чи комплекту деталей;
- h** — глибина стружкової канавки;
- a** — товщина зрізу шару металу (односторонній підйом на зуб);
- k<sub>1</sub>** — коефіцієнт співвідношення між глибиною стружкової канавки та кроком зубів;
- D** — номінальний діаметр оброблюваного отвору;
- z<sub>i</sub>** — кількість одночасно різальних зубів;
- A** — односторонній припуск на обробку.

До недавня основою автоматизованих систем проектування різального інструменту була взаємодія висококваліфікованих фахівців у галузі інструментального виробництва, створення спеціального програмного забезпечення для ЕОМ та технічних засобів САПР. У результаті такої співпраці створювалися певні програмні продукти, що працювали за жорсткою схемою й усували користувача від самого процесу проектування. Таке програмне забезпечення, як правило, не мало засобів візуалізації послідовних етапів розв'язання задачі і передбачало введення вхідних даних та вивід результатів обчислення. Проміжні результати мали чисто інформативно-сервісний характер і не давали змоги втручатися в обчислювальний процес, а тим більше корегувати його.

Серед найскладніших задач, що вирішували проектувальники як вручну, так і за допомогою програмних засобів, були задачі оптимізації. Алгоритми, реалізовані мовами програмування високого рівня, не завжди передбачали графічну ілюстрацію результатів, а тим більше побудову дійсної області оптимальних значень за допомогою прямих, ламаних та кривих ліній.

На сьогодні розв'язувати задачі оптимізації зовсім не складно за умови володіння навичками роботи у багатофункціональному пакеті MathCAD. Виконання нескладних, типових процедур для пакета MathCAD дозволить швидко отримати перші результати вирішення поставленої задачі. Коректний математичний опис вирішуваної задачі та можливості пакета MathCAD на порядок скорочують терміни виконання проектних робіт, підвищують якість їх виконання.

Для прикладу розглянемо задачу оптимізації параметрів циліндричної протяжки [1] із використанням пакета MathCAD 7.0 Professional.

Основними конструктивними елементами різальної частини циліндричної протяжки є крок -  $t$ , товщина зрізу шару металу -  $a$  та глибина стружкової канавки -  $h$ . При конструюванні протяжок намагаються довести число одночасно працюючих зубів  $z_i$  до діапазону від 3 до 8 залежно від довжини протягування. Для забезпечення нормального процесу різання протяжкою потрібно виконати умову: кількість

одночасно різальних зубів має бути більша, ніж 3. Таким чином, сформульовано перше обмеження

$$t \leq \frac{L}{3}. \quad (1)$$

Наступне обмеження формується з умови забезпечення скручування стружки у впадині стружкової канавки. Враховуючи, що її глибина співвідноситься із кроком зубів протяжки ( $h = k_1 \cdot t$ , причому коефіцієнт  $k_1$  може набувати значення 0.3 та 0.4), то вираз, що описує величину кроку зубів протяжки -  $t$  як функцію від товщини зрізаного шару металу -  $a$  з умови забезпечення скручування стружки, остаточно можна описати так:

$$t \geq \frac{1.5 + 15a}{k_1}. \quad (2)$$

Крім того, що стружка має скручуватися у впадині між зубами протяжки, розмір впадини повинен бути таким, щоб уся стружка, що утвориться в процесі різання на довжині заготовки -  $L$ , помістилася у цій впадині. Співвідношення між кроком зубів протяжки -  $t$  і товщиною зрізаного шару -  $a$  з умови забезпечення вмістимості стружки у стружковій канавці описується такою математичною залежністю

Номінальний діаметр отвору для протягування	D := 20	мм
Довжина отвору для протягування	L := 50	мм
Коефіцієнт співвідношення між кроком зубів протяжки та глибиною стружкової канавки	$k_1 := 0.3$	
Припуск на сторону для протягування	A := 0.4	мм

Рис. 1. Ввід вхідних даних для розрахунку

$$t \geq \frac{1.13 \sqrt{a \cdot L (4.5 - 15a)}}{k_1}. \quad (3)$$

Виконання проекційного розрахунку циліндричної протяжки передбачає перевірку міцності протяжки на розрив. З урахуванням аналітичних залежностей, що описують величини максимальної сили при протягуванні, площу поперечного січення протяжки та кількість зубів -  $z_i$ , що одночасно беруть участь у процесі різання, можна сформулювати математичний вираз, що є залежністю допустимої товщини зрізаного шару металу -  $a$  від кроку зубів протяжки -  $t$

$$a^{0.85} \leq \frac{\pi(D - 0.8 \cdot t)^2}{70 \cdot D \cdot z_i}. \quad (4)$$

Виконавши опис граничних функцій, що формують область оптимальних рішень, потрібно уточнити значення деяких параметрів. Товщина зрізаного шару

металу -  $a$  не повинна бути меншою за 0.02 мм, а кількість зубів, що одночасно беруть участь у процесі різання, необхідно округлити до найближчого більшого цілого числа.

Виконавши аналіз методики розрахунку, сформулюємо математичну модель для розв'язування задачі оптимізації параметрів циліндричної протяжки з використанням пакета MathCAD 7.0 Professional. На першому етапі необхідно описати змінні параметри, що будуть використовуватися у розрахункових формулах.

Наступний етап – опис службових змінних та функцій обмежень, ідентифікатори яких за номерами відповідають номерів описаних вище аналітичних залежностей. Функції обмеження з умови забезпечення міцності протяжки (4) в пакеті MathCAD дещо відрізняються від вищеописаної. Це зв'язано із специфікою використання ідентифікаторів у самому пакеті. У цьому виразі замість букви, якою позначають крок, впроваджено нову змінну -  $s$ , значення якої визначається за розрахунковою залежністю, а максимальна величина обмежена граничним розміром кроку зубів протяжки. Заокруглення числа зубів, що одночасно беруть участь у процесі різання, відбувається з використанням вмонтованої функції пакета [2, 3]. Крім того, в пакеті описана ще одна, додаткова функція  $f(w)$  (довільна неперервна функція) для побудови обмежуючої лінії, що відповідає за мінімальне значення товщини зрізаного шару металу ( $a = 0.02$  мм).

Побудова графіків у пакеті MathCAD є складною для користувача. Проте в нашому випадку є одна особливість: графік функції обмежень з умови забезпечення міцності протяжки на розрив потрібно переорієнтувати у координатній площині. Для всіх попередніх функцій обмежень будуються графіки граничних значень кроку зубів протяжки залежно від товщини зрізаного шару металу. Для функції обмежень (4) будується графік залежності товщини зрізу від значень кроку зубів протяжки. Пакет MathCAD дозволяє побудувати всі графіки обмежень в одній площині. Система автоматично виконає необхідні перетворення при умові, що на місці вказівника імен функцій ми запишемо ім'я ранжированої змінної, а на місці змінної – ім'я описаної функції  $a1(s)$  (рис. 3).

Призначаємо діапазон значень для товщини зрізу	$a := 0.02, 0.025 .. 0.15$	
Призначаємо нову ранжировану змінну для опису значень кроку зубів протяжки	$s := 1 .. \left(\frac{L}{3}\right) + 2$	
Описуємо функції обмежень		
$t1(a) := \frac{L}{3}$	$t2(a) := \frac{(1.5 + 15 \cdot a)}{k_1}$	$t3(a) := \frac{1.13 \cdot \sqrt{a \cdot L \cdot (4.5 - 15 \cdot a)}}{k_1}$
$z(s) := \text{ceil}\left(\frac{L}{s}\right)$	$a1(s) := \left[ \pi \cdot \frac{(D - 0.8 \cdot s)^2}{(70 \cdot D \cdot z(s))} \right]^{\frac{1}{0.85}}$	$f(w) := \left  \left( \cos(w) \cdot \frac{L}{3} \right) \right $

Рис. 2. Опис службових змінних, функцій обмежень та додаткових функцій.

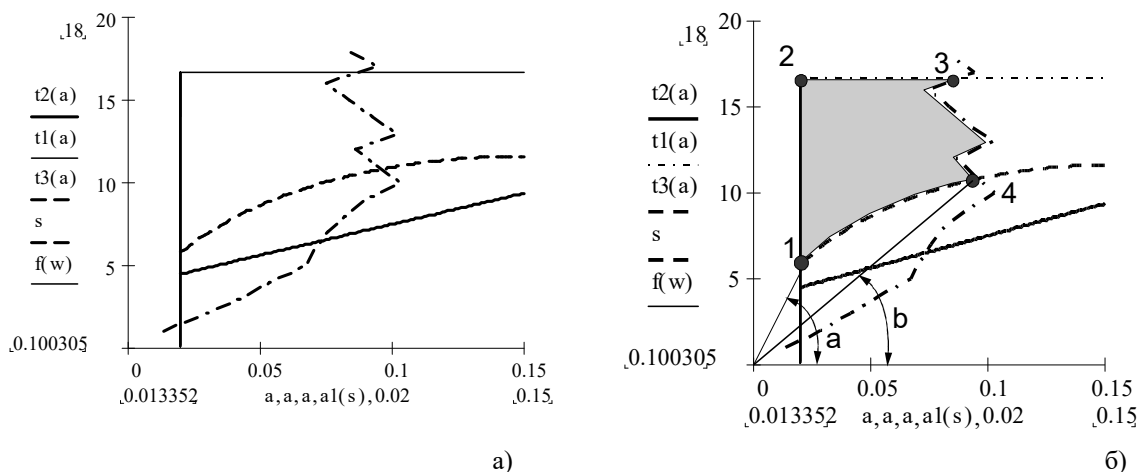


Рис. 3. Графічне зображення функцій обмежень: а– транспонованих з пакету MathCAD; б – транспонованих з пакету MathCAD у графічний пакет Corel для побудови області оптимальних значень.

Ступінчата форма четвертого графіка пояснюється тим, що кількість зубів, що беруть участь у процесі різання одночасно, змінюється на ціле число [1] залежно від розглядуваного кроку зубів. Для знаходження оптимальних значень величин товщини зрізу та кроку зубів протяжки необхідно провести пряму від початку координат через точку, що належить області оптимальних значень так, щоб пряма утворювала найменший кут з віссю абсцис ( $b < a$ ), як показано на рис. 3, б.

```

a := 2      t := 2

given
    a > 0.02      t ≤ L/3
    t3(a) = t      a1(t) = a      [ a 4 ] := find(a, t)
                                [ t 4 ]

a1 := 0.02      t1 := t3(a1)

ar2 := atan(t1/a1)      ar3 := atan(t4/a4)

ares := if(ar2 > ar3, a4, a1)      tres := if(t3(ares) > t2(ares), t3(ares), t2(ares))

ares = 0.096      tres = 10.823
    
```

Рис. 4. Аналітичний розрахунок координат характерних точок.

$$a_{\text{res}} = 0.096 \qquad t_{\text{res}} = 10.823$$

$$l := A \cdot \frac{t_{\text{res}}}{a_{\text{res}}} \qquad l = 45.158$$

Рис. 5. Результати розрахунку.

$$a_{\text{res}} = 0.091 \qquad t_{\text{res}} = 14.207$$

$$l := A \cdot \frac{t_{\text{res}}}{a_{\text{res}}} \qquad l = 62.739$$

Рис. 6. Результати розрахунку після корекції вхідних даних.

Лише після графічної обробки сукупності отриманих графіків у пакеті Corel можна візуально оцінити розміщення оптимальної точки, але вказати її точні координати ще не можливо. Тому наступний крок – знаходження координат характерних точок шляхом розв'язку системи рівнянь у пакеті MathCAD.

З графіків (рис. 3) видно, що найімовірнішими точками для дальшого дослідження будуть точки з номерами - 1 та - 4. За допомогою засобів пакета знайдено координати цих точок та зроблено їх порівняльний аналіз. У результаті виконаних дій встановлено координати точки, що характеризує оптимальні параметри: крок зубів та односторонній підйом на зуб для циліндричної протяжки –  $t_{\text{res}}$ , та  $a_{\text{res}}$

відповідно. Тепер, використовуючи отримані дані, можна обчислити довжину різальної частини протяжки при теоретично встановлених оптимальних параметрах.

Номінальний діаметр отвору для протягування  $D := 30$  мм  
 Довжина отвору для протягування  $L := 20$  мм  
 Коефіцієнт співвідношення між кроком зубів  
 протяжки та глибиною стружкової канавки  $k_1 := 0.4$   
 Односторонній припуск на обробку  $A := 0.4$  мм

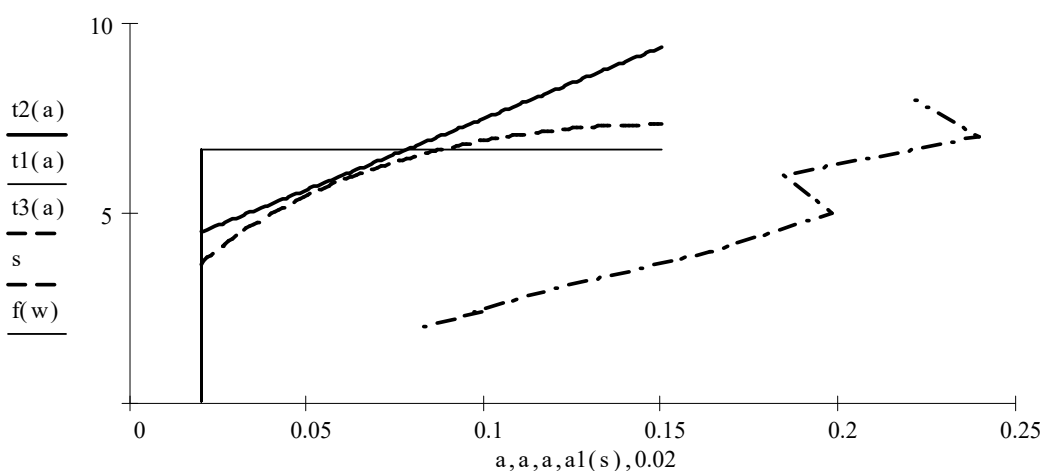
Призначаємо діапазон значень для товщини зрізу  $a := 0.02, 0.021 \dots 0.15$

Призначаємо нову ранжировану змінну для опису значень кроку зубів протяжки  $s := 1 \dots \left(\frac{L}{3}\right) + 2$

Описуємо функції обмежень

$$t1(a) := \frac{L}{3} \quad t2(a) := \frac{(1.5 + 15 \cdot a)}{k_1} \quad t3(a) := \frac{1.13 \cdot \sqrt{a \cdot L \cdot (4.5 - 15 \cdot a)}}{k_1}$$

$$z(s) := \text{ceil}\left(\frac{L}{s}\right) \quad a1(s) := \left[ \pi \cdot \frac{(D - 0.8 \cdot s)^2}{(70 \cdot D \cdot z(s))} \right]^{\frac{1}{0.85}} \quad f(w) := \left| \cos(w) \cdot \frac{L}{3} \right|$$



$$a := 2 \quad t_4 := \frac{L}{3} \quad a_4 := \text{root}(t2(a) - t_4, a)$$

$$a_2 := 0.02 \quad t_2 := t2(a_2) \quad ar2 := \text{atan}\left(\frac{t_2}{a_2}\right) \quad ar3 := \text{atan}\left(\frac{t_4}{a_4}\right)$$

$$a_{res} := \text{if}(ar2 > ar3, a_4, a_2) \quad t_{res} := \text{if}(t3(a_{res}) > t2(a_{res}), t3(a_{res}), t2(a_{res}))$$

$$a_{res} = 0.078 \quad t_{res} = 6.667$$

$$l := A \cdot \frac{t_{res}}{a_{res}} \quad l = 34.286$$

Рис. 7. Приклад оформлення документа в пакеті MathCAD для оптимізації параметрів циліндричної протяжки.

Якщо змінити вхідні розрахункові дані, наприклад,  $k_1 = 0.3$ , то в кінці сформованої нами програми одразу ж можна зчитати нові результати.

Поетапне формування програми у документі MathCAD та одночасне її виконання дозволяє оперативно оцінювати характер отриманих результатів і, при необхідності, корегувати алгоритм розрахунку. Прикладом таких змін може бути розв'язок цієї ж задачі, але за умови, що довжина отвору для обробки циліндричною протяжкою менша, ніж його діаметр.

Після зміни значень вхідних параметрів та побудови області оптимальних значень параметрів циліндричної протяжки (рис. 7), очевидно, що графіки обмежувальних функцій суттєво змінили своє розміщення порівняно із попереднім варіантом розв'язку (рис. 3), а отже, змінюються й аналітичні залежності для обчислення координат оптимальної точки з області оптимальних рішень. Лише в пакеті MathCAD можна швидко виконати корекцію розрахункових формул та з мінімальними затратами часу отримати результати.

Автор наперед дякує всім, хто висловить свої міркування з цієї проблематики. Розгляну всі пропозиції щодо реалізації інженерних розрахунків по напряму 6.0902 "Інженерна механіка" з використанням багатofункціонального пакета MathCAD версій 7.0/8.0 Professional та MathCAD 2000.

*Considered possibility of application of a multifunctional package MathCAD for designing of cutting tools and optimize of their parameters is considered. The multialternative analysis of parameters of the cutting tool is conducted depending on geometric performances of a treated details.*

#### Література

1. Родин П.Р. Основы проектирования режущих инструментов: Учебник. - К.: Выща шк., 1990. - 424 с.
2. Дьяконов В.П. Справочник по MathCAD PLUS 7.0 PRO. - М.: СК Пресс, 1998. - 352 с.
3. Дьяконов В.П., Абраменкова И.В. MathCAD 7.0 в математике, физике и в Internet. - М.: Нолидж, 1999. - 352 с.
4. Очков В.Ф. MathCAD 7.0 PRO для студентов и инженеров. М.: Компьютер Пресс, 1998. - 384 с.

Одержано 07.03.2000 р.